

Результаты проведенных расчетов в пакете CFD

Параметры	Размерность	Величина
Температура синтез-газа на входе	К	1373
Температура синтез-газа на выходе	К	1315
Температура пара на входе	К	601
Средняя температура пара на выходе	К	631
Количество тепла	Вт	21244

По результатам моделирования рассчитан коэффициент теплоотдачи со стороны синтез-газа  $984 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ , который сходится с экспериментальными данными полученными в [4].

Полученные результаты далее планируется использовать для расчетов конвективного газоохладителя ПГУ-ВГЦ мощностью 500МВт.

*Исследование выполнено в Уральском федеральном университете за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-00524).*

#### Список использованных источников

1. Гибридные ПГУ на твердом топливе / Т.Ф. Богатова, А.Ф. Рыжков, Н.В. Вальцев, П.В. Осипов, С.И. Гордеев // Энергетик. 2014. №12. С. 12-16.
2. Development and engineering of a synthetic gas cooler concept integrated in a Siemens gasifier design K. Uebel, U. Guenther, F. Hannemann, U. Schiffers, H. Yilmaz, B. Meyer. K. Uebel et al. / Fuel 116 (2014) 879–888.
3. Cooler Systems for Gasification Plants 07/2015, SCHMIDTSCH SCHACK
4. Convective heat transfer characteristics of high-pressure gas in heat exchanger with membrane helical coils and membrane serpentine tubes / Zhen Yang, Zhenxing Zhao, Yinhe Liu, Yongqiang Chang, Zidong Cao. Experimental Thermal and Fluid Science 35 (2011) 1427–1434.

УДК 669-9

**В. И. Матюхин, В. А. Дудко**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПНЕВМОТРАНСПОРТОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ АКУСТИЧЕСКОГО ПОЛЯ

#### Аннотация

*В данной статье рассмотрены недостатки системы пневмотранспорта мелкодисперсных углеродсодержащих материалов в рабочее пространство дуговой электропечи, а именно неравномерность подачи углеродистых материалов в технологический объект, вследствие расслоения движущихся материалов с концентрацией частиц ближе к нижней образующей трубопровода. Также в качестве устранения данного недостатка представлена технология - формирование модуляционного газового потока путем наложения в поперечном направлении на основной поток компрессорного воздуха акустического поля заданных параметров. Рассмотрена схема оборудования для создания модуляционного потока пневмотранспорта, а также результаты ее испытаний применительно к технологическому объекту. Использование энергии акустического поля при работе пневмотранспорта со-*

проводилось повышением общего давления в системе с уменьшением его колебательности, также было определено давление компрессорного воздуха, при котором обеспечивалось наиболее полное использование сечения трубопровода.

**Ключевые слова:** пневмотранспорт, дуговая сталеплавильная печь, модернизация, энергия акустического поля, модуляционный поток, давление.

### Abstract

*This article discusses the disadvantages of pneumatic transport system of fine carbonaceous materials in an electric arc furnace working space, namely uneven supply of carbonaceous material in the manufacturing facility due to the moving bundle materials with concentration of particles toward the lower generatrix of the pipeline. Also, as shown to avoid this disadvantage technology - forming a modulation of the gas flow by imposing transversely to the main flow of the compressor air acoustic fields set parameters. Consider the equipment diagram to create a pneumatic flow modulation, as well as the results of its tests in relation to the technological object. Using the energy of the acoustic field with the pneumatic accompanied by an increase in the total system pressure with decreasing oscillation, as it was determined pressure compressor air which provides the most complete use of the pipeline section.*

**Keywords:** pneumatic, electric arc furnace, modernization of the energy of the acoustic field, modulation flow pressure.

Существующая система пневмотранспорта мелкодисперсных углеродсодержащих материалов в рабочее пространство дуговой электропечи включает в себя узел подачи углеродистых материалов в трубопровод, узел регулирования, контроля и подачи компрессорного воздуха, трубопровод пневмотранспорта. Имеющаяся система транспортирования мелкодисперсных материалов предусматривает подачу этих компонентов под давлением в трубопровод сверху. Компрессорный воздух под давлением около батм. обеспечивает транспортирование их к печи.

В системе трубопроводов реализован принцип защиты внутренней поверхности пневмотранспорта элементами каменного литья.

В имеющейся системе, каких-либо специальных устройств для создания однородной топливно-воздушной смеси не предусмотрено. Поэтому при перемещении углеродистых материалов на каждую частицу действуют силы динамического напора компрессорного воздуха  $F_{дин}$  в направлении движения газовой среды, сила веса  $P$  в вертикальном направлении и силы торможения  $F_{тр}$ , направленные в противоположную сторону движения (рисунок 1). Имеющаяся система сил при существенной протяженности трубопроводов (до 80м) способствует расслоению движущихся материалов с постепенной концентрацией твердых частиц ближе к нижней образующей трубопровода. Этот факт может являться серьезным фактором увеличения неравномерности подачи углеродистых материалов в технологический объект.

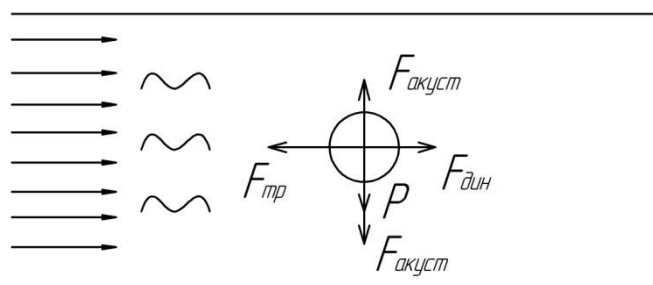


Рис. 1. Силовое воздействие на пылевые частицы при их транспортировании

При этом освобождение свободного газового пространства в трубопроводе приводит к понижению общего давления в нем с уменьшением скорости транспортирования углеродистых частиц. Для предотвращения процесса расслоения подаваемой суспензии предлагается осуществить формирование модуляционного газового потока путем наложения в попереч-

ном направлении на основной поток компрессорного воздуха акустического поля заданных параметров. При этом, для постоянного встряхивания потока частиц в газе с получением однородной суспензии на выходе из трубопровода необходимо обеспечить резонанс этого поля с собственной частотой движущихся частиц материала. Тогда каждый элемент слоя будет испытывать в поперечном направлении движению действие периодической силы

$$P_{акуст} = A \cdot \rho \cdot c \cdot \omega \cdot \cos(\omega(t - \frac{x}{c})), \text{ где } \rho - \text{плотность частицы, кг/м}^3; A - \text{амплитуда внешних колебаний; } \omega - \text{угловая частота; } c - \text{скорость звука.}$$

При этом помимо общего давления движущегося газа  $P_0$  во внешнем акустическом поле с уровнем звука  $J$  действует дополнительная периодическая сила с амплитудой колебаний

$$P = A \cdot \rho \cdot c \cdot \omega = \frac{\rho \cdot c \cdot \omega}{\omega} \sqrt{\frac{2J}{\rho \cdot c}} \cdot 10^7 = \sqrt{2J\rho c}, \text{ атм., величину которой можно изменять через конструктивные и технологические параметры процесса с изменением величины входных воздействий [2].}$$

Создание более однородной суспензии будет сопровождаться повышением общего гидравлического сопротивления системы пневмотранспорта.

При настройке параметров поля необходимо стремиться обеспечить амплитуду акустической силы больше веса частиц для обеспечения увеличения амплитуды поперечных колебаний и реализации условий перемешивания пылевых частиц с объемами газа. Для этого необходимо предусмотреть возможность изменения параметров акустического поля в зависимости от акустических свойств пылевых компонентов.

Предлагается при изготовлении акустического излучателя обеспечить рациональные конструктивные параметры излучателя, а подстройку акустического поля производить за счет изменения давления компрессорного воздуха, идущего на формирование акустического поля.

Формирование акустического поля предлагается осуществить компрессорным воздухом, идущим для обеспечения пневмотранспорта путем перераспределения (рисунок 2). Необходимо предусмотреть возможность регулирования и контроля давления потоков компрессорного воздуха, идущего как для пневмотранспорта, так и для формирования акустического поля.

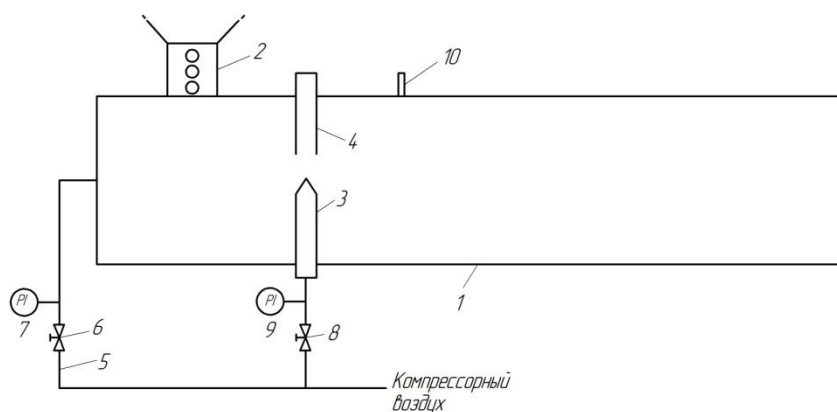


Рис. 2. Схема оборудования для создания модуляционного потока пневмотранспорта:  
1 – пневмопровод; 2 – бункер сыпучих материалов; 3 – сопло излучателя; 4 – резонатор излучателя; 5 – трубопровод компрессорного воздуха для пневмотранспорта;  
6, 8 – регулировочный кран; 7, 9 – манометр; 10 – штуцер отбора статического давления

С целью оценки условий транспортирования на трубопроводе необходимо предусмотреть штуцер отбора давления сразу после формирования потока суспензии на расстоянии не более 500мм с целью снижения воздействия возникающих турбулентностей и (по возможности) в конце трубопровода вдали от местных сопротивлений. Этот импульс давления имеется

в существующих условиях Выбор параметров акустического поля будет оцениваться по изменению общего сопротивления пневмопровода [3].

Выбор и обоснование конструктивных особенностей акустического излучателя производится по чертежам узла подачи компрессорного воздуха.

Общий ожидаемый расход компрессорного воздуха на излучатель составит не более  $50\text{ м}^3/\text{ч}$ . Если учесть, что при создании акустического поля будет использоваться перераспределение компрессорного воздуха в пределах существующей конструкции пневмопровода, то увеличения его расхода не произойдет.

Ожидаемые результаты: улучшение равномерности состава подаваемой суспензии компрессорного воздуха и углеродистых частиц; повышение общего гидравлического сопротивления пневмопровода; увеличение дальнобойности струи суспензии в рабочем пространстве дуговой печи, что отразится на равномерности распределения добавки по ванне металла и улучшит процесс шлакообразования.

Отработка режимных параметров использования акустического поля осуществлялась в обычном режиме работы дуговой печи давлением компрессорного воздуха 0 (без излучателя), 3, 4 и 4,5 атм. подаваемого на излучатель. В каждом случае производится фиксирование значения общего давления в трубопроводе после подачи дисперсного углерода. Характер изменения общего давления компрессорного воздуха без излучателя (1) и с использованием акустической установки (2) при давлении компрессорного воздуха 3,0 атм. представлены на рисунке 3.

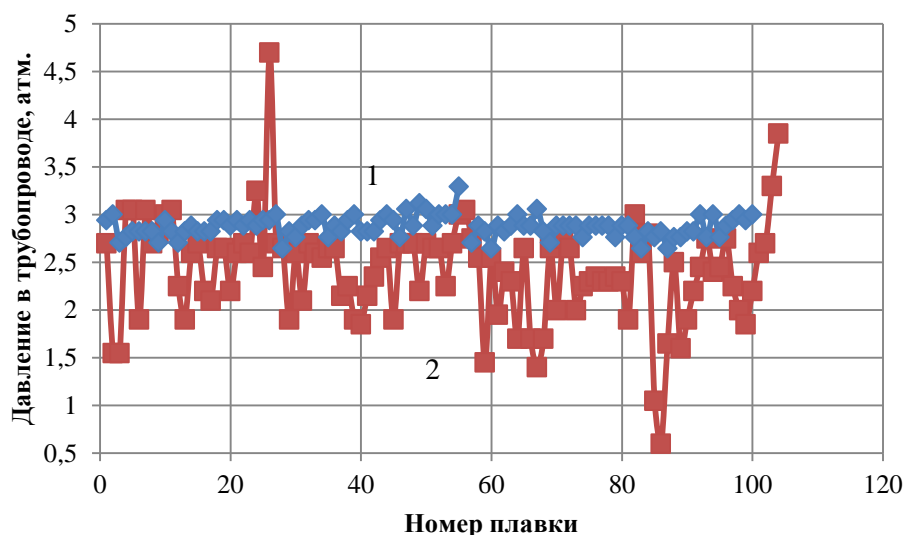


Рис. 3. Характер изменения общего давления в трубопроводе в обычном режиме (2) и с использованием акустического поля (1)

Анализ этих зависимостей показал, что в обычном режиме общее давление в системе характеризуется значительным колебанием его значений, вызванным зарастанием сечения трубопровода выпадающими твердыми частицами. При этом использование энергии акустического поля при работе пневмотранспорта сопровождается повышением общего давления в системе с уменьшением его колебательности. На рисунке 4 представлена экспериментальная зависимость среднего давления в системе трубопровода от давления компрессорного воздуха.

Ее анализ показал, что при давлении компрессорного воздуха около 3 атм. давление в системе будет максимальным за счет создания наиболее перемешанной суспензии твердых частиц в воздухе и увеличение плотности движущейся среды.

Если рассмотрим при этом среднеквадратичное отклонение давления в системе трубопровода (рисунок 5), то с увеличением давления компрессорного воздуха на излучатель отклонение давления в системе будет уменьшаться и при давлении 4 атм. близка к нулю. Такая закономерность изменения среднего давления в системе указывает на обеспечение возмож-

ности наиболее полного использования сечения трубопровода при давлении компрессорного воздуха около 4,0 атм.

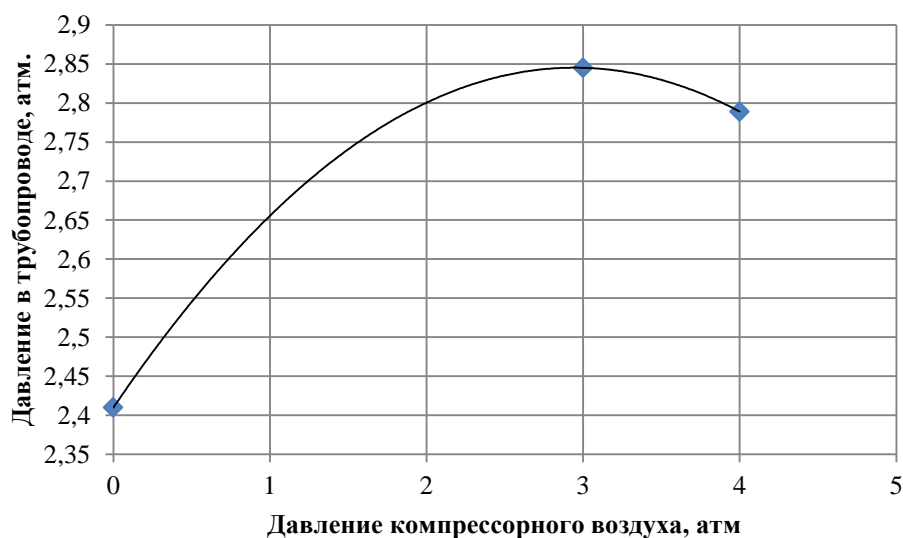


Рис. 4. Зависимость изменения общего давления в трубопроводе от давления компрессорного воздуха на излучателе

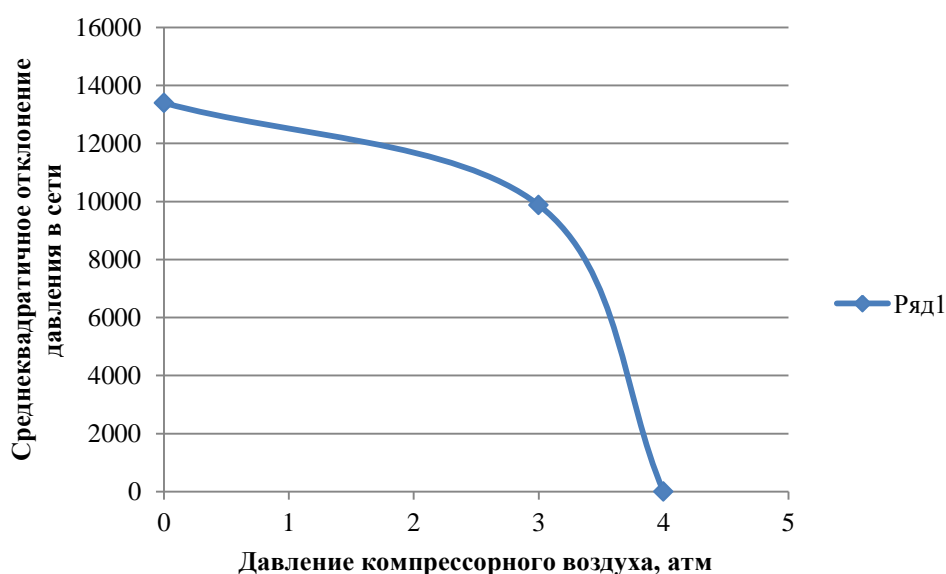


Рис. 5. Изменение среднеквадратичного отклонения давления в системе трубопроводов от давления компрессорного воздуха на излучателе

Сравнительный анализ его значений в обычном режиме и с применением энергии акустического поля позволит оценить изменение газодинамического сопротивления системы пневмотранспорта дисперсного углерода и выбрать наименее затратные условия.

После установления рационального давления на излучателе необходимо провести сравнительные плавки в обычном режиме и с применением энергии акустического поля на трех линиях подачи твердого топлива. Основные показатели работы дуговой печи (массовые потоки твердых, жидких и газообразных компонентов, время формирования шлакового режима, энергозатраты, время расплавления, количество отходящих газов и др. параметры), использование которых позволяет оценить энергетику сталеплавильной печи. Их анализ позволит установить эффект применения энергии акустического поля для предотвращения засорения пневмотранспорта дисперсного углерода и изменение условий плавки металла. При

этом необходимо рассмотреть особенности формирования шлакового режима печи (длительность, изменение энергозатрат на печь, стабильность подачи дисперсного углерода, усвоение углерода) [1].

#### Список использованных источников

1. Тепло- и массообмен в звуковом поле / Под ред. Кутателадзе С.С. Новосибирск: АН СССР, 1970. – 253 с.
2. Стретт Дж.В. Теория звука. Под ред. Рытова Т.П. Т.2, ГИТТЛ, 1956.
3. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества. М.: Машиностроение-1. 2004. – 134 с.

УДК 620.92

**А. Д. Никитин, С. Е. Щеклеин, У. Ш. Муродов, Н. Б. Холов**

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗА СЧЕТ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### Аннотация

*В данной работе рассмотрена возможность использования термоэлектрических преобразователей (ТЭП) в качестве резервного источника электроэнергии при их установке на оборудование, имеющее высокую температуру поверхности. Исходя из распределения температуры поверхности промышленного оборудования, 85% оборудования имеет температуру больше или равную 125°C, 30% оборудования – более 225°C, что делает установку ТЭП целесообразной. Приведены результаты экспериментальных исследований зависимости вырабатываемой мощности, вольтамперных характеристик и напряжения холостого хода от разности температур между горячей и холодной сторонами ТЭП. При разности температур 350°C удельная мощность ТЭП составила 330 Вт/м<sup>2</sup>, что позволит получить с оборудования, имеющего площадь поверхности 1000 м<sup>2</sup>, дополнительно 330 кВт мощности. При снижении разности температур на 60% вырабатываемая мощность уменьшилась в том же соотношении. Так как стоимость ТЭП относительно высокая, то использование ТЭП для резервного электроснабжения оправдано при температуре поверхности оборудования более 200°C и значительном ущербе от аварии.*

*Ключевые слова: термоэлектрический преобразователь, резервное электроснабжение, аварийное энергоснабжение, вольтамперные характеристики ТЭП, температура поверхности промышленного оборудования, термоэлектрический эффект.*

#### Abstract

*In this work considered the possibility of using thermoelectric converter (TEC) as a backup power source when TEC is mounted on an equipment having a high temperature of surface. Based on the surface temperature distribution of industrial equipment, 85% of the equipment has a temperature greater or equal to 125 °C, 30% of the equipment has a temperature more than 225 °C. It does the installation of TEC rational. The results of experimental studies of depending on power output, current-voltage characteristics and the open-circuit voltage of the temperature difference between the hot side and the cold side of the TEC described. When a temperature difference was 350 °C, the power density of TEC was 330 W/m<sup>2</sup>, which will provide 330 kW of power with the equipment, having a surface area of 1000 m<sup>2</sup>. When the temperature difference is reduced at the 60%, power output decreased in the same ratio. Since the cost of TEC is relatively high, the use of*